

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

11-084291

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl.

G02B 26/10

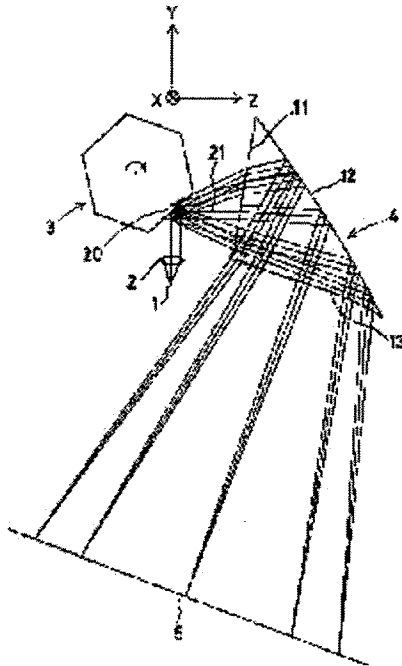
G02B 26/10

H04N 1/113

(21)Application number : 09-246637 (71)Applicant : OLYMPUS  
OPTICAL CO  
LTD

(22)Date of filing : 11.09.1997 (72)Inventor : TAKAHASHI  
KOICHI

(54) SCANNING OPTICAL SYSTEM



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a scanning optical system which has a large scanning angle, can form a light beam performing uniform motion, can attain telecentric characteristic, and whose image formation performance is high. SOLUTION: As to this scanning optical system having a light deflector 3 which has operation for deflecting light along one scanning direction on a scanning object surface 5, and an optical member 4 which is arranged between the deflector 3 and the surface 5, by which a pupil surface 20 is nearly aligned with the deflector 3, and an image surface is nearly aligned with the surface 5; the member 4 includes at least one reflection surface 12 giving positive power to a luminous flux, and the surface 12 is formed of an irrotational symmetric surface which has operation for correcting eccentric aberration and does not have a rotational symmetric axis

inside and outside the surface.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-84291

(43)公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 26/10

識別記号

1 0 8

H 0 4 N 1/113

F I

G 0 2 B 26/10

H 0 4 N 1/04

F

C

1 0 8

1 0 4 Z

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平9-246637

(22)出願日 平成9年(1997) 9月11日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 高橋浩一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

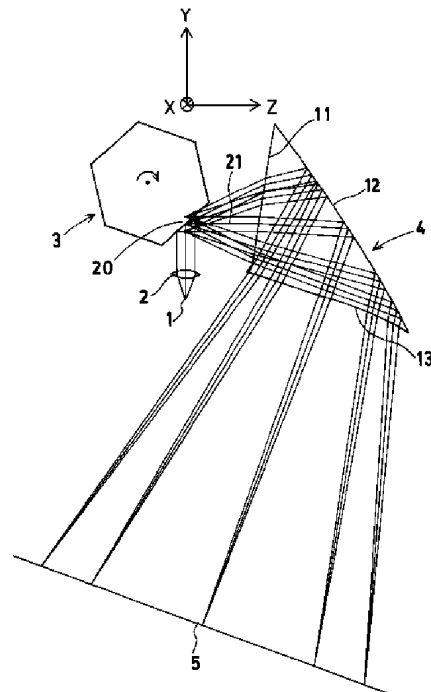
(74)代理人 弁理士 荏澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 走査光学系

(57)【要約】

【課題】 広い走査角を有し、等速度運動する光ビームを形成することが可能で、テレセントリック性を達成することも可能で、結像性能の高い走査光学系。

【解決手段】 走査対象面5上で1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器3と、光偏向器3と走査対象面5との間に配置されかつ瞳面20を光偏向器3に略一致させると共に像面を走査対象面5に略一致させた光学部材4とを有した走査光学系であり、光学部材4が、光束に正のパワーを与える少なくとも1つの反射面12を含み、その反射面12は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ端面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、

前記光学部材が、光束に正のパワーを与える少なくとも1つの反射面を含み、その反射面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【請求項2】 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ端面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、

前記光学部材が、屈折率( $n$ )が1よりも大きい( $n > 1$ )媒質にて形成されたプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、少なくともプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面と、少なくともプリズムに光束を入射若しくは射出する作用を持った透過面とを有し、前記反射面と前記透過面の少なくとも一方の面は、偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【請求項3】 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ端面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、

前記光学部材が、反射又は透過の光学作用を持った少なくとも3つの面とその3つの面に挟まれた屈折率( $n$ )が1よりも大きい( $n > 1$ )媒質とを有するプリズム部材を含み、前記3つの面の中、少なくとも1つの面がプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面にて形成されると共に、前記反射面と媒質を挟んで対向配置されている面が前記反射面との間に光路を折り畳む作用を持った折り返し光路を形成するように反射作用と透過作用とを併せて持ように構成され、

さらに、前記3つの面の中、少なくとも1面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有しない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、走査光学系に関し、特に、偏向器によって光を偏向させる走査光学系、

それを用いた走査光学装置及び画像表示装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 走査光学系の従来の周知なものの1つとして、特許第2,604,513号のものがある。この走査光学系は、光源からの光ビームを第1結像光学系にて副走査方向にのみ集光させ、偏向器によって光ビームを偏向し、偏向器近傍の前側レンズ群と被走査面近傍の後側レンズ群によって構成される第2結像光学系によって被走査面上をテレセントリックに照射させるものである。

【0003】 また、走査光学系の他の周知なものとして、特開平9-127410号のものがある。この走査光学系は、3群からなり、第1群は変形トロイダル面を有するメニスカスレンズ、第2群は正レンズ、第3群は略走査面の走査幅の長さを有するトロイダル面を有するレンズによって構成されている。

【0004】 また、光を偏向走査して観察者の眼球に投影する画像表示装置の従来の周知なものとして、本出願人の特開平7-218849号のものがある。この画像表示装置は、1次元アレイの発光素子から射出した光を偏向器によって偏向し、観察者の眼球に投影するものである。

【0005】 また、この他の光を偏向走査して観察者の眼球に投影する画像表示装置に、特開平4-168475号、米国特許第5,003,300号のものがある。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、特許第2,604,513号及び特開平9-127410号では、光学系を構成する光学素子として3枚以上用いている。したがって、光学素子の数が多いため、組立の工程は複雑になり、コストの高いものになる。さらに、走査面の直前に非常に大きなレンズを配備しているため、光学系全体は大きなものになる。

【0007】 また、上記特開平7-218849号、特開平4-168475号、米国特許第5,003,300号に開示された画像表示装置においては、光ビームを走査面で結像する作用を有する光学系としか記述がなく、走査光学系における具体的な特徴は開示されていない。

【0008】 本発明は従来技術のこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、1つの光学素子によって構成された走査光学系を用いながらも非常に広い走査角を有し、走査光学系の特徴である偏向器の特性によって決る走査特性を良好に補正すること、すなわち、偏向器の種類に関わらず走査面上では等速度運動する光ビームを形成することが可能であり、また、高精度な描画のために必要なテレセントリック性を達成することも可能であり、さらに、1次元走査のみではなく2次元の走査領域において上記特性を有し、さらに、結像性能の

高い走査光学系を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明の走査光学系は、少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、光束に正のパワーを与える少なくとも1つの反射面を含み、その反射面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とするものである。

【0010】本発明のもう1つの走査光学系は、少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、屈折率( $n$ )が1よりも大きい( $n > 1$ )媒質にて形成されたプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、少なくともプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面と、少なくともプリズムに光束を入射若しくは射出する作用を持った透過面とを有し、前記反射面と前記透過面の少なくとも一方の面は、偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とするものである。

【0011】本発明のさらにもう1つの走査光学系は、少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、反射又は透過の光学作用を持った少なくとも3つの面とその3つの面に挟まれた屈折率( $n$ )が1よりも大きい( $n > 1$ )媒質とを有するプリズム部材を含み、前記3つの面の中、少なくとも1つの面がプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面にて形成されると共に、前記反射面と媒質を挟んで対向配置されている面が前記反射面との間に光路を折り畳む作用を持った折り返し光路を形成するように反射作用と透過作用とを併せて持たように構成され、さらに、前記3つの面の中、少なくとも1面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有しない非回転対称面にて形成されていることを特徴とするものである。

【0012】以下に、本発明において上記のような構成をとる理由と作用について説明する。本発明の走査光学系を図1に例示する。図1において、走査光学素子4は、光軸21に対して偏心しており後記する(a)式で定義される非回転対称な非球面である自由曲面からなる

第1面11、第2面12、第3面13からなり、この3面11～13によって構成される空間が屈折率が1より大きい光学的に透明な媒質で満たされてなる偏心プリズムである。

【0013】実際の光線経路は、光源1から射出した光はコリメーター2によって略平行光となり、偏向器3に入射する。偏向器3は、図1の場合、等角速度運動している回転多面体であるポリゴンスキャナーであり、入射光はその回転する反射面によって偏向走査されて第1面11で屈折して走査光学素子4に入射する。走査光学素子4に入射した光は第2面12で内部反射し、その内部反射後に第3面13で屈折して走査光学素子4から射出し、走査面5上に集光して走査される。

【0014】以下の説明において用いる座標系について説明する。図1に示すように、走査中心を照射するときのポリゴンミラー反射位置を走査光学素子4の入射瞳20位置としている。入射瞳20中心を通り走査面5の中心に到達する軸上主光線が瞳20を射出し走査光学素子4の第1面11に交差するまでの直線によって定義される軸21をZ軸とし、このZ軸と直交し、かつ、走査光学素子4を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義する。また、光軸21と直交し、かつ、Y軸と直交する軸をX軸とする。

【0015】本発明による走査光学系は、少なくとも正のパワーを有する反射面を用いることで、光学系の光路を折り曲げ、装置全体をコンパクトにし、また、正のパワーを有する反射面によって屈折系に比べて発生する収差を小さくすることができる。また、反射面を光軸に対して偏心させることで、偏向器と走査面の干渉を防ぎ、さらに面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面とすることで偏心収差を良好に補正している。

【0016】さて、一般にカメラ等で用いられる球面レンズ系では、球面で発生する球面収差とコマ収差、像面湾曲等の収差を他の面で補正する構成になっている。そこで、構成する面に非球面を用いることによって、このレンズ系で発生する各種収差を少なくし、構成する面数を少なくすることが可能となる。これは非球面における収差補正の効果が絶大であるためであり、1面で球面数枚の収差補正効果が得られるためである。

【0017】一方、本発明の走査光学系のように光軸に対して傾いたあるいは偏心した面を用いた光学系においては、従来の回転対称非球面では補正できない偏心による収差が発生する。偏心により発生する収差は、コマ収差、非点収差、像歪み、像面湾曲等がある。

【0018】本発明は、光源から射出した光を照射面に照射する走査光学素子を、少なくとも2面で構成された偏心プリズムで構成し、上記した偏心による諸収差を同時にしかも良好に補正するために、非回転対称な面である自由曲面あるいはアナモルフィック面を使用している。

【0019】ここで、本発明の走査光学系において用いている自由曲面とは、例えば以下の式で定義されるもの

$$\begin{aligned}
 Z = & C_2 \\
 & + C_3 y + C_4 x \\
 & + C_5 y^2 + C_6 y x + C_7 x^2 \\
 & + C_8 y^3 + C_9 y^2 x + C_{10} y x^2 + C_{11} x^3 \\
 & + C_{12} y^4 + C_{13} y^3 x + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y x^3 + C_{16} x^4 \\
 & + C_{17} y^5 + C_{18} y^4 x + C_{19} y^3 x^2 + C_{20} y^2 x^3 + C_{21} y x^4 \\
 & \quad + C_{22} x^5 \\
 & + C_{23} y^6 + C_{24} y^5 x + C_{25} y^4 x^2 + C_{26} y^3 x^3 + C_{27} y^2 x^4 \\
 & \quad + C_{28} y x^5 + C_{29} x^6 \\
 & + C_{30} y^7 + C_{31} y^6 x + C_{32} y^5 x^2 + C_{33} y^4 x^3 + C_{34} y^3 x^4 \\
 & \quad + C_{35} y^2 x^5 + C_{36} y x^6 + C_{37} x^7 \\
 & \quad \dots \dots \dots \\
 & \dots (a)
 \end{aligned}$$

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、 $C_m$  ( $m$ は2以上の整数)は係数である。

【0020】また、本発明の走査光学系においては、偏心した回転非対称面形状を有する反射作用面の少なくとも1面は、対称面を1つのみ有する面对称自由曲面を使用することが望ましい。上記式(a)で表される自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、本発明ではxの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面(図1の面)と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、 $C_4$ 、 $C_6$ 、 $C_9$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{15}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{24}$ 、 $C_{26}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{33}$ 、 $C_{35}$ 、 $C_{37}$ 、 $\dots$ の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0021】また、yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自

$$\begin{aligned}
 Z = & (CX \cdot x^2 + CY \cdot y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) CX^2 \cdot x^2 \\
 & - (1 + K_y) CY^2 \cdot y^2\}^{1/2}] \\
 & + \sum_{n=2} R_n \{ (1 - P_n) x^2 + (1 + P_n) y^2 \}^n \dots (b)
 \end{aligned}$$

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、CXはX軸方向曲率、CYはY軸方向曲率、 $K_x$ はX軸方向円錐係数、 $K_y$ はY軸方向円錐係数、 $R_n$ は非

$$\begin{aligned}
 Z = & (CX \cdot x^2 + CY \cdot y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) CX^2 \cdot x^2 \\
 & - (1 + K_y) CY^2 \cdot y^2\}^{1/2}] \\
 & + R_1 \{ (1 - P_1) x^2 + (1 + P_1) y^2 \}^2 \\
 & + R_2 \{ (1 - P_2) x^2 + (1 + P_2) y^2 \}^3 \\
 & + R_3 \{ (1 - P_3) x^2 + (1 + P_3) y^2 \}^4 \\
 & + R_4 \{ (1 - P_4) x^2 + (1 + P_4) y^2 \}^5 \dots (c)
 \end{aligned}$$

なお、後記する実施例の構成パラメータでは、

$R_x$  : X軸方向曲率半径

$R_y$  : Y軸方向曲率半径

を用いており、曲率CX、CYとの間には、

$R_x = 1/CX$ 、 $R_y = 1/CY$

の関係にある。

である。その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $C_7$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{15}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{19}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{24}$ 、 $C_{26}$ 、 $C_{30}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{34}$ 、 $C_{36}$ 、 $\dots$ の各項の係数を0にすることによって可能であり、また、以上のような対称面を持つことにより製作性を向上することが可能となる。

【0022】上記Y-Z面と平行な対称面、X-Z面と平行な対称面の何れか一方を対称面とすることにより、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正することが可能となる。上記定義式は、1つの例として示したものであり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0023】また、本発明の走査光学系において用いているアナモルフィック面とは、例えば以下の式で定義されるものである。その定義式のZ軸がアナモルフィック面の軸となる。

球面項回転対称成分、 $P_n$ は非球面項回転非対称成分である。

【0024】例として、 $n=4$ (4次項)を考えると、

【0025】本発明の走査光学素子4は、少なくとも2面(図1に示した例においては3面)で形成された空間を屈折率が1よりも大きい(例えば、1.5)光学媒質で満たされているため、入射瞳20から射出した光は第1面11から走査光学素子4に入射する際にスネルの法則に従って屈折する。したがって、ある角度で射出した

光は第1面11において屈折されて走査光学素子4に入射されるため、光学系の主な正のパワーを有する第2面12あるいは第3面13に入射する光線高を低く設定することが可能となる。そのため、光学系をコンパクトに構成することと同時に、大きな開口数（NA）を実現することができる。

【0026】以下に、各面の働きについて説明する。

（入射面）本発明の走査光学系においては、透過面である第1面11を入射瞳20に対して凸面にするのが重要である。ポリゴンミラー3の反射位置である入射瞳20から射出した光線は、走査光学素子4である偏心プリズムの第1面11に屈折して入射する。この第1面11が凸面であれば正のパワーを有することになり、入射瞳20から大きな画角で射出した軸外光線が反射面である第2面12に入射する光線高を低く抑えることができる。したがって、広い画角を確保すると共に、小型軽量の光学系を実現することができる。さらに、光軸上の光束、あるいは、軸外光束の何れかの光束における従属光線も同様に第2面12における光線高を低く抑えることになり、光軸に対して偏心した反射面12で発生するコマ収差を良好に補正する効果が生じる。

【0027】（反射面）本発明の走査光学系において主な正のパワーを有するのは、凹面鏡の作用を有する図1（実施例1）における第2面12、又は、図4（実施例4）における第3面13である。この面は軸上主光線に対して偏心するか傾いて配備されているため、軸上においてもコマ収差が発生する。また、同様に偏心による非点収差、ディストーション等の収差も発生する。偏心によるコマ収差に対しては、第2面12を偏心した非球面とする、あるいは、偏心した非回転対称非球面とすることによって、Y-Z面内の非対称性を適切に設定され補正することが可能となる。また、軸上でも発生する非点隔差の補正には、非回転対称な非球面とすることで、Y-Z面内のパワーとY-Z面に直交する面であるX-Z面内のパワーを適切に変えて補正することが可能となる。さらに、偏心によるディストーションは反射面を上記の自由曲面（より具体的には、面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称な自由曲面）に設定することによって、第3面13における光線高の差により適切に面の傾きが設定され補正することが可能となる。

【0028】（射出面）また、第2面12を自由曲面（より具体的には、面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称な自由曲面）で構成することによって、偏心によるコマ収差の発生を抑えることができる。これは、第1面11で光線が屈折作用する場合に、軸上主光線に対して面を傾いて配置することで、偏心によるコマ収差

$$r \leq 5^\circ$$

なる条件を満たすことが、高精細な書き込みを行う場合に重要である。上記条件の $5^\circ$ を越えて偏向光の主光線傾角 $r$ が大きくなると、走査面の光軸方向のずれによ

を補正することが可能となるためである。さらに、本発明において、第2面12（図4）は走査面5に面した面でもある。走査面5に近接した屈折面である第2面12を自由曲面にすることによって、像歪みの発生を補正することができる。これは、屈折面が走査面5に近接して配置されているために、他の収差を悪化させることなく像歪みを補正するのに良い結果を与えるためである。

【0029】図4に、本発明のもう1つの走査光学系を示す。ただし、図4では、走査光学素子4の入射瞳20近傍に配置される偏向器3であるポリゴンミラー、光源1、コリメーター2（図1）の図示は省かれ、走査光学素子4とその像面である走査面5のみが図示されている。

【0030】図4において、走査光学素子4は、光源1から射出した光が入射する面である第1面11、その第1面11に対向した反射作用と透過作用を有する面である第2面12、反射面である第3面13によって構成され、この3面11～13によって構成される空間が屈折率が1より大きい光学的に透明な媒質で満たされてなる偏心プリズムである。図4において、走査光学素子4を構成する各面の形状は、第1面11、第2面12、第3面13共に前記（a）式で表される回転非対称な非球面である自由曲面である。

【0031】実際の光線経路は、入射瞳20からの光は、走査光学素子4の入射面である第1面11から入射し、第2面12で内部反射する。この際、走査光が射出する領域Sにおける反射角は臨界角以上になるように設定されており、第2面12の領域Sで全反射することになる。一方、走査光が射出しない部分Cにおいては、臨界角より小さい反射角で反射する光も存在するため、その表面にはアルミニウム等の反射率の高いコーティングが施されている。第2面12で内部反射した後は第3面13において反射され、再び第2面12において屈折して走査光学系4から射出し、走査面5を走査する。

【0032】また、本発明の走査光学系においては、後記の実施例4に示すように、テレセントリックな走査が可能である。したがって、レーザプリンタ等の書き込み用として用いた場合、例えば走査面である感光ドラムの振動によって走査位置が変化しても走査スポットの位置変動は略ゼロであり、高精細な描写が可能である。また、走査面上の画像を取り込む場合においても、同様に、取り込む画像と走査光学系との間に光軸方向のずれがあっても、走査スポットの位置変動は略ゼロとなり、高精細な画像の取り込みができる。

【0033】その場合、走査面の法線に対しての偏向光の主光線傾角を $\gamma$ とした場合、

$$\cdots (1-1)$$

で起こる走査スポットの位置変動が大きくなり、高精細の画像描写が困難になる。

【0034】さらに、

$$r \leq 2^\circ$$

なる条件を満たすことが望ましい。

$$r \leq 1^\circ$$

なる条件を満たすことがより望ましい。

【0036】ところで、後記する実施例4、5（図4、図5）の場合の走査光学素子4の射出面である第2面12は、光源から射出した光を第3面13側に内部反射させる反射作用と、第3面13で反射した後走査面5へ射出する透過作用とを有する。図4に示したC部においては、透過領域と反射領域が重ならないため、反射コーティングを施してもよい。したがって、その領域C

$$\theta \geq \sin^{-1}(1/n)$$

なる条件を満たしていることが重要となる。

【0038】上記のように設定することによって、光源から射出した光線が走査光学素子4における内部反射面と走査光学素子4から射出する射出面とが同一の面の第2面12にて構成することが、走査光学系の小型化、低コスト化、広面角化に有効に作用する。光源から射出した光線が走査光学素子4に入射した後、反射する反射面と、走査光学素子4から射出する射出面を1面で構成しているため、2つの面における作用を1面で行うことになる。そのため、光学系を構成する面数を削減することになり、製造コストを低くすることが可能である。

【0039】さらに、第2面12で反射と射出を同時に行うことによって、広い画角を達成し、偏心による収差の補正を有効に行うことが可能となる。一般に、凹面鏡に入射する光線の入射角が大きくなればなる程偏心によるコマ収差が大きく発生する。反射面と射出面を1面で構成することで、反射面と射出面を分離する必要がなくなるため、1回目の反射面である第2面12と2回目の反射面である第3面13のなす角度をあまり大きくする必要がなく、第2面12は射出面でもあるため、第3面13に近接して配置することができる。したがって、第3面13での反射角をあまり大きくすることがなくなり、第3面13における偏心収差、特にコマ収差の発生を低減することが可能となる。

【0040】また、第2面12は、走査面5に対して凹面であることが好ましい。入射瞳20から射出した光は、第2面12の一部において全反射をする必要がある。第2面12の形状が走査面5に対して凹面であれば、内部反射角を大きくとることができるため、全反射に有利に作用する。

【0041】さらに、第2面12は光軸に対して偏心したあるいは傾いた非球面であることが望ましい。図4に示すように、本発明の走査光学系においては、構成する各面が光軸に対して偏心あるいは傾いている。したがって、それぞれの面で偏心による収差が大きく発生するこ

$$Y_a = f_a \times \theta_a$$

なる  $f-\theta$  特性を満足する必要がある、ガルバノミラーを用いる場合は、走査面5上の像高を  $Y_b$  とし、ポリゴ

$$\cdots (1-2)$$

【0035】また、さらに、

$$\cdots (1-3)$$

における光の反射角に条件は必要ない。しかし、図4のSt部においては、透過領域と反射領域が重なり合っているため、反射コーティングを施すことができない。したがって、この透過領域と反射領域が重なり合っている領域における内部反射は全反射とする必要があるため、反射角は臨界角以上が必要となる。

【0037】つまり、St部における光の反射角を  $\theta$ 、光学系の媒質の屈折率を  $n$  とした場合、

$$\cdots (2)$$

となる。この場合、第2面12をY-Z面内（図4の面内）において非対称なパワーを有するように設定することで、偏心による収差の補正に有利に作用する。

【0042】さらに、第2面12は光軸に対して偏心したあるいは傾いた非回転対称な非球面であることが望ましい。非回転対称な非球面によれば、Y-Z面内におけるパワーの非対称性をより適切に設定することが可能となる。したがって、偏心による収差の補正を一層良好に行うことが可能となる。

【0043】さらに好ましくは、光学部品製作性を考慮すると、非回転対称な非球面として用いる自由曲面の面数は必要最低限にすることが望ましい。そこで、走査光学素子4を構成する面の中で少なくとも1つの面を平面若しくは球面又は偏心した回転対称面にすることによって、製作性を上げることが可能となる。

【0044】そして、本発明の走査光学系においては、走査光学素子4を構成する面の形状を、その面内及び面外共に回転対称軸を有せず、しかも、対称面を1つのみ有する自由曲面としている。これは、例えば図1のように座標系をとった場合に、偏心して配置される面の偏心方向を含む面であるY-Z面が対称面となるような自由曲面とすることで、走査面5の像もそのY-Z面を対称面として両側で対称にすることができ、収差補正の労力が大幅に削減できるためである。

【0045】なお、本発明における反射作用を有する反射面には、全反射面、ミラーコート面、半透過反射面等の反射作用を有する全ての反射面が含まれる。

【0046】ところで、例えば図1のような配置の走査光学系において、偏向器3としては、等角速度運動をするポリゴンミラー又は正弦振動するガルバノミラーが用いられる。ポリゴンミラーを用いる場合は、走査面5上の像高を  $Y_a$  とし、ポリゴンミラーによる偏向角を  $\theta_a$  とすると、走査光学素子4の焦点距離を  $f_a$  とするとき、

$$\cdots (3)$$

ンミラーによる偏向角を  $\theta_b$  とし、走査光学素子4の焦点距離を  $f_b$  とするとき、



$$Yb = fb \times \sin^{-1} \theta b$$

なる  $f - \arcsin \theta$  特性を満足する必要がある。

【0047】これらの場合、走査面5上の理想的な像高をY(上記Ya又はYb)とし、偏向器3の偏向角を $\theta$ (上記 $\theta a$ 又は $\theta b$ )とし、走査光学素子4の焦点距離

$$-10 < L < 10$$

なる条件を満たすことが望ましい。

$$-5 < L < 5$$

なる条件を満たすことが望ましい。

【0049】

【発明の実施の形態】以下に、まず、本発明の走査光学系の走査光学素子の実施例1〜5について説明する。後述する各実施例の構成パラメータにおいては、図1に示すように、走査光学素子4の入射瞳20を光学系の原点として、光軸21を走査面5の走査中心と入射瞳20の中心(原点)とを通る光線で定義し、入射瞳20から光軸21に進む方向をZ軸方向、このZ軸に直交し入射瞳20中心を通り、光線が走査光学系4によって折り曲げられる面内の方向をY軸方向、Z軸、Y軸に直交し入射瞳20中心を通る方向をX軸方向とし、入射瞳20から走査光学素子4に向かう方向をZ軸の正方向、光軸21から第2面12による反射方向と反対方向をY軸の正方向、そして、これらZ軸、Y軸と右手系を構成する方向をX軸の正方向(紙面の表から裏へ向かう方向)とする。

【0050】そして、偏心が与えられている面については、その面の面頂位置の走査光学素子4の原点である入射瞳20の中心からのX軸方向、Y軸方向、Z軸方向の偏心量と、その面の中心軸(自由曲面、アナモルフィック面については、それぞれ前記の(a)式、(c)式のZ軸)のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角(それぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ (°))とが与えられている。なお、その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対しての反時計回りを、 $\gamma$ の正はZ軸の正方向に対しての時計回りを意味する。その他、球面の曲率半径、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。なお、面間隔については、意味を有しない。

【0051】また、自由曲面及びアナモルフィック面の形状は前記の(a)式、(c)式により与えられる。なお、データの記載されていない非球面に関する項は0である。屈折率については、d線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0052】実施例1の走査光学系の光軸21を含むY-Z断面図を図1に示す。また、実施例2〜5の走査光学系の光軸21を含むY-Z断面図をそれぞれ図2〜図5に示す。ただし、図2〜図5では、走査光学素子4の入射瞳20近傍に配置される偏向器3であるポリゴンミラー(実施例3〜5)あるいはガルバノミラー(実施例2)、光源1、コリメーター2(図1)の図示は省か

$$\dots (4)$$

をf(上記fa又はfb)とし、各像高における実像高をY'とし、

$$L = \{ (Y' - Y) / Y \} \times 100$$

とした場合、

$$\dots (5-1)$$

【0048】さらに、

$$\dots (5-2)$$

れ、走査光学素子4とその像面である走査面5のみが図示されている。

【0053】実施例1〜3の走査光学素子4の実際の光線経路は、入射瞳20に対向して偏心配置された透過面である第1面11を経て光学素子4に入射した入射瞳20からの光は、第2面12で反射し、透過面である第3面13を透過して光学素子4から射出して、走査面5上に偏向走査され結像する。そして、実施例1、2においては、第1面11、第2面12、第3面13共、前記式(a)で表される自由曲面からなり、実施例3においては、第1面11は球面、第2面12は前記式(c)で表されるアナモルフィック面、第3面13は平面からなる。

【0054】実施例4〜5の走査光学素子4の実際の光線経路は、入射瞳20に対向して偏心配置された透過面である第1面11を経て光学素子4に入射した入射瞳20からの光は、第2面12で反射し、反射面である第3面13で反射をして再び第2面12に入射し、その面を透過して光学素子4から射出して、走査面5上に偏向走査され結像する。そして、実施例4においては、第1面11、第2面12、第3面13共、前記式(a)で表される自由曲面からなり、実施例5においては、第1面11は前記式(c)で表されるアナモルフィック面、第2面12、第3面13は前記式(a)で表される自由曲面からなる。

【0055】なお、これら実施例の走査光学系のテレセントリック性と $f - \theta$ 特性あるいは $f - \arcsin \theta$ 特性については、実施例1は非テレセントリックで $f - \theta$ 特性を有し、実施例2は非テレセントリックで $f - \arcsin \theta$ 特性を有し、実施例3は非テレセントリックで $f - \theta$ 特性を有し、実施例4はテレセントリックで $f - \theta$ 特性を有し、実施例5は非テレセントリックで $f - \theta$ 特性を有するものであり、実施例4においては、走査面5側の光線の主光線傾角は全フィールドにおいて1°以下である。

【0056】実施例1〜5の走査角は、水平画角50°、垂直画角50°、瞳径は2mmである。また、設計における波長は780nmとしている。したがって、後記する光学性能評価(図6〜図19)もその波長で行っている。

【0057】以下に、上記実施例1〜5の構成パラメータを示す。

## 実施例 1

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アッベ数
1	$\infty$ (瞳)				
2	自由曲面[1]		偏心(1)	1.5254	56.2
3	自由曲面[2]		偏心(2)	1.5254	56.2
4	自由曲面[3]		偏心(3)		
像 面	$\infty$		偏心(4)		
自由曲面[1]					
$C_5$	$-4.8016 \times 10^{-4}$	$C_7$	$8.6980 \times 10^{-3}$	$C_8$	$1.2913 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$4.9016 \times 10^{-4}$	$C_{12}$	$5.2440 \times 10^{-6}$	$C_{14}$	$2.0718 \times 10^{-5}$
$C_{16}$	$-8.7250 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$-5.7677 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$-1.0466 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$-1.2531 \times 10^{-6}$				
自由曲面[2]					
$C_5$	$-2.1158 \times 10^{-3}$	$C_7$	$1.0217 \times 10^{-3}$	$C_8$	$1.7242 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$7.8968 \times 10^{-5}$	$C_{12}$	$2.1179 \times 10^{-7}$	$C_{14}$	$5.4927 \times 10^{-8}$
$C_{16}$	$-1.9478 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$5.2871 \times 10^{-9}$	$C_{19}$	$-1.7131 \times 10^{-8}$
$C_{21}$	$-9.0602 \times 10^{-8}$				
自由曲面[3]					
$C_5$	$8.2367 \times 10^{-4}$	$C_7$	$1.2107 \times 10^{-2}$	$C_8$	$5.7483 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$-3.6856 \times 10^{-5}$	$C_{12}$	$-8.9385 \times 10^{-6}$	$C_{14}$	$-2.3857 \times 10^{-5}$
$C_{16}$	$-5.4732 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$1.0573 \times 10^{-8}$	$C_{19}$	$-2.9250 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-8.1585 \times 10^{-8}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	3.96	Z	11.58
$\alpha$	-8.87	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	8.55	Z	17.54
$\alpha$	36.71	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	-8.89	Z	15.75
$\alpha$	72.89	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-57.58	Z	2.75
$\alpha$	69.94	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【 0 0 5 8 】

## 実施例 2

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アッベ数
1	$\infty$ (瞳)				
2	自由曲面[1]		偏心(1)	1.5254	56.2
3	自由曲面[2]		偏心(2)	1.5254	56.2
4	自由曲面[3]		偏心(3)		
像 面	$\infty$		偏心(4)		
自由曲面[1]					
$C_5$	$7.0640 \times 10^{-3}$	$C_7$	$1.1622 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.7099 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-3.6911 \times 10^{-4}$	$C_{12}$	$-9.5686 \times 10^{-6}$	$C_{14}$	$1.4307 \times 10^{-5}$
$C_{16}$	$-6.2808 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$1.8902 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$2.1324 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-9.7690 \times 10^{-9}$				
自由曲面[2]					
$C_5$	$-2.0850 \times 10^{-3}$	$C_7$	$1.6281 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-1.4776 \times 10^{-6}$
$C_9$	$-5.4542 \times 10^{-8}$	$C_{10}$	$1.0378 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$6.4851 \times 10^{-16}$

$C_{12}$	$-2.0248 \times 10^{-7}$	$C_{13}$	$6.4465 \times 10^{-16}$	$C_{14}$	$3.0770 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$6.5567 \times 10^{-16}$	$C_{16}$	$-6.4314 \times 10^{-7}$	$C_{17}$	$-6.2432 \times 10^{-9}$
$C_{18}$	$1.5995 \times 10^{-15}$	$C_{19}$	$2.4451 \times 10^{-8}$	$C_{20}$	$-2.2270 \times 10^{-15}$
$C_{21}$	$-4.9969 \times 10^{-8}$	$C_{22}$	$4.7328 \times 10^{-16}$		

## 自由曲面(3)

$C_5$	$1.2827 \times 10^{-3}$	$C_7$	$1.1672 \times 10^{-2}$	$C_8$	$3.2122 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$1.4157 \times 10^{-4}$	$C_{12}$	$3.9063 \times 10^{-6}$	$C_{14}$	$8.1477 \times 10^{-8}$
$C_{16}$	$5.4968 \times 10^{-7}$	$C_{17}$	$-1.9431 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$-1.5782 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-1.0820 \times 10^{-7}$				

## 偏心(1)

X 0.00 Y -9.59 Z 13.31

$\alpha$  -9.51  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(2)

X 0.00 Y 7.66 Z 21.11

$\alpha$  45.95  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(3)

X 0.00 Y -15.45 Z 27.92

$\alpha$  77.67  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(4)

X 0.00 Y -62.51 Z 35.89

$\alpha$  103.09  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【0059】

## 実施例3

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アッベ数
1	$\infty$ (瞳)				
2	37.06		偏心(1)	1.5254	56.2
3	アナモルフィック面		偏心(2)	1.5254	56.2
4	$\infty$		偏心(3)		
像 面	$\infty$		偏心(4)		

## アナモルフィック面

Rx -573.99

Ry -754.83

K<sub>x</sub> 0.0000

K<sub>y</sub> 0.0000

R 1  $4.8872 \times 10^{-12}$  R 2  $1.8474 \times 10^{-8}$

P 1  $2.4417 \times 10^2$  P 2  $-1.9898 \times 10^{-1}$

## 偏心(1)

X 0.00 Y 0.43 Z 5.27

$\alpha$  -8.18  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(2)

X 0.00 Y -3.62 Z 20.11

$\alpha$  30.17  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(3)

X 0.00 Y -13.65 Z 23.68

$\alpha$  69.77  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 偏心(4)

X 0.00 Y -42.39 Z -4.98

$\alpha$  62.16  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【0060】

## 実施例4

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アッベ数
1	$\infty$ (瞳)				
2	自由曲面[1]		偏心(1)	1.4922	57.5
3	自由曲面[2]		偏心(2)	1.4922	57.5
4	自由曲面[3]		偏心(3)	1.4922	57.5
5	自由曲面[2]		偏心(2)		
像 面	$\infty$		偏心(4)		
自由曲面[1]					
C <sub>5</sub>	$1.3216 \times 10^{-2}$	C <sub>7</sub>	$1.0983 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$1.8434 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-9.7410 \times 10^{-5}$	C <sub>12</sub>	$2.8685 \times 10^{-6}$	C <sub>14</sub>	$3.3720 \times 10^{-7}$
C <sub>16</sub>	$1.7210 \times 10^{-7}$				
自由曲面[2]					
C <sub>5</sub>	$1.7556 \times 10^{-3}$	C <sub>7</sub>	$1.4101 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-2.1040 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$1.0257 \times 10^{-5}$	C <sub>12</sub>	$5.8539 \times 10^{-7}$	C <sub>14</sub>	$1.2612 \times 10^{-6}$
C <sub>16</sub>	$1.0858 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-2.9119 \times 10^{-9}$	C <sub>19</sub>	$-5.8219 \times 10^{-8}$
C <sub>21</sub>	$-9.7945 \times 10^{-8}$				
自由曲面[3]					
C <sub>5</sub>	$6.7166 \times 10^{-4}$	C <sub>7</sub>	$3.3358 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.3144 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.7089 \times 10^{-4}$	C <sub>12</sub>	$-1.9431 \times 10^{-6}$	C <sub>14</sub>	$-4.1346 \times 10^{-6}$
C <sub>16</sub>	$-1.4930 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-1.3440 \times 10^{-8}$	C <sub>19</sub>	$-3.1193 \times 10^{-8}$
C <sub>21</sub>	$-3.5606 \times 10^{-8}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	3.14	Z	12.61
$\alpha$	2.61	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	-7.26	Z	38.60
$\alpha$	47.74	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	0.19	Z	-0.17
$\alpha$	54.76	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	9.86	Z	48.85
$\alpha$	55.78	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【 0 0 6 1 】

## 実施例5

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アッベ数
1	$\infty$ (瞳)				
2	アナモルフィック面		偏心(1)	1.4922	57.5
3	自由曲面[1]		偏心(2)	1.4922	57.5
4	自由曲面[2]		偏心(3)	1.4922	57.5
5	自由曲面[1]		偏心(2)		
像 面	$\infty$		偏心(4)		
アナモルフィック面					
R <sub>x</sub>	51.22				
R <sub>y</sub>	52.01				
K <sub>x</sub>	0.0000				
K <sub>y</sub>	0.0000				
R 1	$5.7849 \times 10^{-7}$	R 2	$5.5372 \times 10^{-9}$		
P 1	-1.2561	P 2	$-3.0154 \times 10^{-1}$		
自由曲面[1]					

$C_5$	$1.5917 \times 10^{-3}$	$C_7$	$2.0371 \times 10^{-8}$	$C_8$	$2.9993 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$1.0611 \times 10^{-4}$	$C_{12}$	$6.1126 \times 10^{-7}$	$C_{14}$	$3.3450 \times 10^{-6}$
$C_{16}$	$2.1509 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$-2.7798 \times 10^{-8}$	$C_{19}$	$-1.0444 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-1.4947 \times 10^{-7}$				

## 自由曲面(2)

$C_5$	$1.6642 \times 10^{-3}$	$C_7$	$5.6364 \times 10^{-8}$	$C_8$	$-1.0328 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.3112 \times 10^{-4}$	$C_{12}$	$-4.9940 \times 10^{-7}$	$C_{14}$	$-6.1522 \times 10^{-6}$
$C_{16}$	$-2.1597 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$1.3701 \times 10^{-8}$	$C_{19}$	$-2.4901 \times 10^{-8}$
$C_{21}$	$-2.4620 \times 10^{-8}$				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	12.25	Z	5.93
$\alpha$	-8.61	$\beta$	0.00	$r$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	-9.46	Z	25.31
$\alpha$	50.13	$\beta$	0.00	$r$	0.00

## 偏心(3)

X	0.00	Y	1.52	Z	-3.06
$\alpha$	54.76	$\beta$	0.00	$r$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	16.47	Z	53.58
$\alpha$	37.94	$\beta$	0.00	$r$	0.00

【0062】図6(a), (b)に実施例1の $f-\theta$ 特性を示す。図(a)にはX方向、図(b)にはY方向の $f-\theta$ 特性を示している。図7(a), (b)に実施例2の $f-\arcsin\theta$ 特性を示す。図(a)にはX方向、図(b)にはY方向の $f-\arcsin\theta$ 特性を示している。図8(a), (b)に実施例4の $f-\theta$ 特性を示す。図(a)にはX方向、図(b)にはY方向の $f-\theta$ 特性を示している。また、図9(a), (b)に実施例5の同様の $f-\theta$ 特性を示している。これらの図において、横軸は像高Y、縦軸は(5-1)で与えられるリニアリティLである。

【0063】また、図10に実施例1の像面湾曲を、図11に実施例2の像面湾曲を、図12に実施例4の像面湾曲を、図13に実施例5の像面湾曲をそれぞれ示す。これらの図において、横軸は像高Y、縦軸はフォーカス位置であり、□点を結ぶ曲線はY方向フォーカスを、◇点を結ぶ曲線はX方向フォーカスを示している。

【0064】また、図14～図16に実施例1の横収差を、図17～図19に実施例4の横収差を示す。これらの横収差図において、括弧内に示された数字は(X方向画角、Y方向画角)を表し、その画角における横収差を示す。

【0065】以上の実施例の本発明による走査光学系においては、走査光学素子4を構成する面の形状を、その面内及び面外共に回転対称軸を有せず、しかも、対称面を1つのみ有する自由曲面としているものがある(実施例1、2、4、5)。これは、例えば図1のように座標系をとった場合に、偏心して配置される面の偏心方向を含む面であるY-Z面が対称面となるような自由曲面と

することで、結像面5の像もそのY-Z面が対称面として両側で対称にすることができ、収差補正の労力が大幅に削減できるためである。

【0066】次に、図20に、本発明の走査光学系をレーザービームプリンタ(LBP)に適用した場合の構成図を示す。不図示の光源1から射出しコリメーター2によって略平行光となったコリメート光(図1参照)は、偏向器3であるポリゴンスキャナーに入射し、その反射面で偏向された光線は走査光学素子4によって走査面5に位置する感光ドラム上に集光されて走査する。走査面5に2次元画像を書き込む場合には、例えば、上記した構成において、コリメート光が偏向器3であるポリゴンスキャナーに入射する前に、ポリゴンスキャナーの偏向面に直交する面内に偏向させる第2の偏向器(例えば、振動ミラー)を配備することで可能となる。なお、この例において、走査光学素子4は、例えば図4のような像側テレセントリックな光学系であり、第1面11は球面、反射作用と透過作用を有する面である第2面12及び反射面である第3面13は自由曲面からなり、偏向器3による偏向角は約70°である。

【0067】図21に読み込み装置(例えば、スキャナー)に本発明の走査光学系を適用した場合の構成図を示す。取り込む画像の走査線51に沿う位置から射出した光は、例えば図5のような走査光学素子4によって取り込まれ、ポリゴンスキャナー3で偏向されて1方向に進行する略平行光となる。その光は集光する作用を有する集光光学系52によって光検出器53に導かれて画像が映像信号として取り込まれる。

【0068】図22に2次元画像に対応した場合の構成

図を示す。2次元画像50を2次元走査して取り込む場合には、図21の構成で、ポリゴンスキャナ3に入射した後、ポリゴンスキャナ3の偏向面に直交する面内に偏向させる第2の偏向器であるガルバノメータスキャナ31を追加配置すればよい。

【0069】次に、本発明の走査光学系を画像表示装置に適用した場合の1例の構成図を図23に示す。外部からの映像信号に従ってコントローラによって変調された光を射出する光源として、3原色R、G、B（赤、緑、青）のレーザあるいはLED1R、1G、1B等を配置する。3原色の光源1R、1G、1Bからの光はコリメーター（図示せず）によって略平行光となり、2枚のハーフミラー7によって同軸にアライメントされて1本の光ビームとなり、この光ビームはX方向に偏向する第1偏向器（図示せず。図22参照）によって偏向され、第2偏向器3のポリゴンミラーによってY方向に偏向されて走査光学素子4の第1面11から入射する。走査光学素子4に入射した光は第2面12で内部反射し、第3面13で反射して、今度は第2面12で屈折して射出し、中間像位置40に観察されるべき1次像である中間像を形成する。この像を接眼光学系6によって観察者の瞳41を経て網膜上に結像させることで、拡大した虚像を観察することができる。ここで、図23に示した接眼光学系6としては、本出願人が例えば特開平8-313829号で提案した3つの光学面61～63で囲まれた屈折率が1より大きい媒質からなる偏心光学系を用いており、中間像からの光束は、その第3面63からその偏心光学系内に入射させ、次に、その内部で第1面61で全反射させ、次いで、凹面鏡の第2面62で内部反射させ、今度は第1面61を経て偏心光学系外に射出させ、その中間像を観察者眼球に導くものである。

【0070】なお、図23の配置において、光源に1次元の広がりを持つもの、例えばLEDアレイを用いると、偏向するのが1方向のみでよいから、第1偏向器を省くことができ、上述した構成に比べてシンプルで小型にすることができる。なお、図23の中間像位置40に拡散板等の透過型スクリーンを配置してもよい。

【0071】また、図24に示すように、光源1を左右1つずつ合計2つにし、偏向器3の2つの反射面に同時

にその2つの光源1からのコリメート光を入射させるようにすることで、1つの偏向器3によって観察者の両眼に画像を投影することができる。この場合は、コリメーター2、走査光学素子4、接眼光学系6がそれぞれ左右一対配置されている。

【0072】図25に図23に類似した画像表示装置の要部構成図を示す。ただし、光源1から第2偏向器3までは図23の場合と同様であるため、図示していない。走査光学素子4の入射瞳20位置にポリゴンミラーあるいはガルバノミラーからなる第2偏向器3が配置され、その偏向器3の反射面で偏向された光は、走査光学素子4の第1面11から入射し、第2面12で内部反射され、第3面13で反射されて、今度は第2面12で屈折して射出し、中間像位置40に観察されるべき1次像である中間像を形成する。この中間像は空中にでも光学媒質内にでも形成できるため、図25に示されるように、接眼光学系6の偏心光学系内に形成することが可能である。そのため、通常の表示素子を用いる場合、あるいは、図23のように空中に1次像を形成する場合に比べて、この例の場合、接眼光学系6の焦点距離を短くすることが可能となり、さらに広い画角を実現することができる。なお、この実施例の場合も、接眼光学系6としては、本出願人が例えば特開平8-313829号で提案した3つの光学面61～63で囲まれた屈折率が1より大きい媒質からなる偏心光学系を用いている。

【0073】図25の実施例において、走査光学素子4は例えば実施例4に示したものをを用いているため、その構成パラメータをここでは示さないが、以下に、接眼光学系6の構成パラメータを示す。ただし、その第3面63は平面であり、下記の構成パラメータ中では省いてある。次の構成パラメータ中、面番号は観察者瞳41位置から中間像面40までの逆光線追跡によって表してある。座標のとり方は図1～図5と同様であるが、観察者瞳41の中心を原点としている。この実施例では、接眼光学系6の媒質内に中間像を形成しているため、水平画角50°、垂直画角38.6°、射出瞳径4mmを達成している。

【0074】

<接眼光学系の構成パラメータ>

面番号	曲率半径	間隔	偏心	屈折率	アップベ数
1	$\infty$ (瞳)		偏心(1)		
2	自由曲面[1]		偏心(2)	1.4922	57.5
3	自由曲面[2]		偏心(3)	1.4922	57.5
4	自由曲面[1]		偏心(2)	1.4922	57.5
像面	$\infty$		偏心(4)		
自由曲面[1]					
C5	$4.7905 \times 10^{-4}$	C7 $-1.1555 \times 10^{-2}$	C8	$-5.5074 \times 10^{-5}$	
C10	$-3.2531 \times 10^{-4}$	C12 $-2.6285 \times 10^{-6}$	C14	$2.5769 \times 10^{-6}$	
C16	$4.2178 \times 10^{-6}$	C17 $-8.2599 \times 10^{-8}$	C19	$9.8187 \times 10^{-8}$	

C21  $1.6093 \times 10^{-7}$ 

## 自由曲面(2)

C5  $-5.0708 \times 10^{-3}$  C7  $-8.6294 \times 10^{-3}$  C8  $-4.6135 \times 10^{-5}$   
 C10  $-4.9564 \times 10^{-5}$  C12  $9.0372 \times 10^{-7}$  C14  $1.1106 \times 10^{-6}$   
 C16  $-1.9738 \times 10^{-7}$  C17  $-2.1466 \times 10^{-8}$  C19  $-4.7149 \times 10^{-8}$   
 C21  $-1.3733 \times 10^{-8}$

## 偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00  
 $\alpha$  0.00  $\beta$  0.00  $r$  0.00

## 偏心(2)

X 0.00 Y 5.90 Z 48.09  
 $\alpha$  2.60  $\beta$  0.00  $r$  0.00

## 偏心(3)

X 0.00 Y -8.27 Z 64.68  
 $\alpha$  -23.98  $\beta$  0.00  $r$  0.00

## 偏心(4)

X 0.00 Y 27.84 Z 57.55  
 $\alpha$  44.24  $\beta$  0.00  $r$  0.00

【0075】なお、図25の画像表示装置は、中間像（実像）を形成するものならば、走査光学系以外のどのような形態のものでも同様の効果が得られることは言うまでもない。例えば、原画像として液晶表示素子を用い、リレー光学系によって中間像を形成し、その中間像を接眼光学系6によって観察者眼球に投影する画像表示装置においても、この中間像を接眼光学系6の光学媒質内に形成するようにすることで同様の効果が得られる。

【0076】以上の本発明の走査光学系、走査光学装置及びそれを用いた画像表示装置は、例えば次のように構成することができる。

〔1〕 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、光束に正のパワーを与える少なくとも1つの反射面を含み、その反射面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【0077】〔2〕 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、屈折率（ $n$ ）が1よりも大きい（ $n > 1$ ）媒質にて形成されたプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、少なくともプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面と、少なくともプリズムに光束を入射若しくは射出する作用を持った透過面とを有し、前記反射面と前記透過面の少なくとも一方の面

は、偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有さない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【0078】〔3〕 少なくとも走査対象面上での1つの走査方向に沿って光を偏向させる作用を持った光偏向器と、前記光偏向器と前記走査対象面との間に配置されかつ瞳面を前記光偏向器に略一致させると共に像面を前記走査対象面に略一致させた光学部材とを有した走査光学系において、前記光学部材が、反射又は透過の光学作用を持った少なくとも3つの面とその3つの面に挟まれた屈折率（ $n$ ）が1よりも大きい（ $n > 1$ ）媒質とを有するプリズム部材を含み、前記3つの面の中、少なくとも1つの面がプリズム内の光束を反射する作用を持った反射面にて形成されると共に、前記反射面と媒質を挟んで対向配置されている面が前記反射面との間に光路を折り畳む作用を持った折り返し光路を形成するように反射作用と透過作用とを併せて持たないように構成され、さらに、前記3つの面の中、少なくとも1面は偏心収差を補正する作用を持った面内面外共に回転対称軸を有しない非回転対称面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【0079】〔4〕 上記〔3〕において、前記走査光学系は、前記走査対象面側の光線が略テレセントリックとなるように構成されていることを特徴とする走査光学系。

【0080】〔5〕 上記〔1〕から〔4〕の何れか1項において、前記非回転対称面は、対称面が2つ存在するアナモルフィック面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【0081】〔6〕 上記〔1〕から〔4〕の何れか1項において、前記非回転対称面は、対称面が1つのみ存在する自由曲面にて形成されていることを特徴とする走

査光学系。

【0082】〔7〕 上記〔1〕から〔6〕の何れか1項において、前記光学部材は、前記偏向器によって光束が偏向される方向におけるパワーと、その方向と垂直な方向におけるパワーとが異なるように構成されていることを特徴とする走査光学系。

【0083】〔8〕 上記〔3〕又は〔4〕において、前記プリズム部材が、少なくとも透過面、透過作用と反射作用を併せ持つ面、反射面の3面から構成され、プリズム内部の光路が、前記透過面側から追跡して、前記透過面を透過し、前記透過作用と反射作用を併せ持つ面にて反射され、前記反射面にて反射された後、前記透過作用と反射作用を併せ持つ面を透過するように、前記3つの面が配置されていることを特徴とする走査光学系。

$$Y_a = f_a \times \theta_a$$

なる関係を満足することを特徴とする走査光学系。

【0087】〔12〕 上記〔1〕から〔10〕の何れか1項において、前記走査対象面上の像高を $Y_b$ とし、

$$Y_b = f_b \times \sin^{-1} \theta_b$$

なる関係を満足することを特徴とする走査光学系。

【0088】〔13〕 上記〔1〕から〔12〕の何れか1項において、前記走査対象面上の像高を $Y$ とし、前

$$-10 < L < 10$$

なる条件を満たすことを特徴とする走査光学系。

$$-5 < L < 5$$

なる条件を満たすことを特徴とする走査光学系。

【0090】〔15〕 上記〔1〕から〔14〕の何れか1項において、前記走査対象面は1次元であることを特徴とする走査光学系。

【0091】〔16〕 上記〔1〕から〔14〕の何れ

$$\gamma \leq 5^\circ$$

なる条件を満たすことを特徴とする走査光学系。

$$\gamma \leq 2^\circ$$

なる条件を満たすことを特徴とする走査光学系。

$$\gamma \leq 1^\circ$$

なる条件を満たすことを特徴とする走査光学系。

【0095】〔20〕 光源から射出した光が偏向器によって偏向され、走査光学系を介して走査面に照射される走査光学装置において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも2面で構成され、その少なくとも2面で形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、少なくとも1面は反射面であり、前記の少なくとも2面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0096】〔21〕 上記〔20〕において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも3面で構成され、その少なくとも3面で形成された空

【0084】〔9〕 上記〔3〕、〔4〕又は〔8〕において、前記透過作用と反射作用を併せ持つ面は、プリズム内の光束の少なくとも一部を全反射させるように構成することによって、反射作用と透過作用とを形成していることを特徴とする走査光学系。

【0085】〔10〕 上記〔1〕から〔9〕の何れか1項において、前記プリズム部材の光学作用面の中、前記偏向器に最も隣接した面が、正のパワーを有する面にて形成されていることを特徴とする走査光学系。

【0086】〔11〕 上記〔1〕から〔10〕の何れか1項において、前記走査対象面上の像高を $Y_a$ とし、前記偏向器の偏向角を $\theta_a$ とし、前記光学部材の焦点距離を $f_a$ とすると、

$$\dots (3)$$

前記偏向器の偏向角を $\theta_b$ とし、前記光学部材の焦点距離を $f_b$ とすると、

$$\dots (4)$$

記偏向器の偏向角を $\theta$ とし、前記光学部材の焦点距離を $f$ とし、各像高における実像高を $Y'$ とし、 $L = \{(Y' - Y) / Y\} \times 100$ とした場合、

$$\dots (5-1)$$

【0089】〔14〕 上記〔12〕において、

$$\dots (5-2)$$

か1項において、前記走査対象面は2次元であることを特徴とする走査光学系。

【0092】〔17〕 上記〔3〕から〔16〕の何れか1項において、前記走査対象面の法線に対しての偏向光の主光線傾角を $\gamma$ とした場合、

$$\dots (1-1)$$

【0093】〔18〕 上記〔17〕において、

$$\dots (1-2)$$

【0094】〔19〕 上記〔18〕において、

$$\dots (1-3)$$

間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、1面は反射面であり、他の1面は反射作用と透過作用とを有する面であり、前記の少なくとも3面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0097】〔22〕 上記〔20〕又は〔21〕において、前記の少なくとも1面は回転非対称な非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0098】〔23〕 上記〔20〕又は〔21〕において、前記の少なくとも1面は自由曲面であることを特徴とする走査光学装置。

【0099】〔24〕 上記〔20〕から〔23〕の何れか1項において、前記光源はレーザであることを特徴とする走査光学装置。

【0100】〔25〕 上記〔20〕から〔24〕の何



れか1項において、前記偏向器に入射する光は、前記光源から発する光がコリメートされた平行光であることを特徴とする走査光学装置。

【0101】〔26〕 上記〔20〕から〔25〕の何れか1項において、前記偏向器に入射する光は、前記の面の偏心方向とそれに直交する方向において、前記光の大きさが異なることを特徴とする走査光学装置。

【0102】〔27〕 上記〔20〕から〔26〕の何れか1項において、前記偏向器は前記の面の偏心方向とそれに直交する方向の2次元に偏向させるものであることを特徴とする走査光学装置。

【0103】〔28〕 上記〔20〕から〔26〕の何れか1項において、前記偏向器に入射する光は、1次元の発光素子列から射出されたものであることを特徴とする走査光学装置。

【0104】〔29〕 1次元画像あるいは2次元画像から射出した光が走査光学系を介し偏向器によって偏向され、1方向に進行する光ビームとなり光検出器に入射される走査光学装置において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも2面で構成され、その少なくとも2面で形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、少なくとも1面は反射面であり、前記の少なくとも2面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0105】〔30〕 上記〔29〕において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも3面で構成され、その少なくとも3面で形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、1面は反射面であり、他の1面は反射作用と透過作用とを有する面であり、前記の少なくとも3面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0106】〔31〕 上記〔29〕又は〔30〕において、前記の少なくとも1面は回転非対称な非球面であることを特徴とする走査光学装置。

【0107】〔32〕 上記〔29〕又は〔30〕において、前記の少なくとも1面は自由曲面であることを特徴とする走査光学装置。

【0108】〔33〕 上記〔29〕から〔32〕の何れか1項において、前記偏向器は前記の面の偏心方向とそれに直交する方向の2次元に偏向させるものであることを特徴とする走査光学装置。

【0109】〔34〕 上記〔29〕から〔32〕の何れか1項において、前記偏向器に入射する光は、1次元の発光素子列から射出されたものであることを特徴とする走査光学装置。

【0110】〔35〕 光源から射出した光が偏向器に

よって偏向され、走査光学系によって中間像を形成し、前記中間像を接眼光学系によって観察者眼球に虚像として拡大して投影する画像表示装置において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも2面で構成され、その少なくとも2面で形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、少なくとも1面は反射面であり、前記の少なくとも2面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする画像表示装置。

【0111】〔36〕 上記〔35〕において、前記走査光学系は、少なくとも1方向に光を偏向する偏向器と前記光を走査させる走査面との間に配置され、少なくとも3面で構成され、その少なくとも3面で形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされており、1面は反射面であり、他の1面は反射作用と透過作用とを有する面であり、前記の少なくとも3面の中、少なくとも1面は光軸に対して偏心した非球面であることを特徴とする画像表示装置。

【0112】〔37〕 上記〔35〕又は〔36〕において、前記の少なくとも1面は回転非対称な非球面であることを特徴とする画像表示装置。

【0113】〔38〕 上記〔35〕又は〔36〕において、前記の少なくとも1面は自由曲面であることを特徴とする画像表示装置。

【0114】〔39〕 上記〔35〕から〔38〕の何れか1項において、前記走査光学系の走査対象面側の光線が略テレセントリックとなるように構成されていることを特徴とする画像表示装置。

【0115】〔40〕 上記〔35〕から〔39〕の何れか1項において、前記走査光学系の少なくとも1面は、一部が反射し一部が透過する面であることを特徴とする画像表示装置。

【0116】〔41〕 上記〔35〕から〔40〕の何れか1項において、前記走査光学系の少なくとも1面は、少なくとも一部が全反射する面であることを特徴とする画像表示装置。

【0117】〔42〕 上記〔35〕から〔41〕の何れか1項において、前記偏向器によって偏向する光束は2つであり、前記2つの光束はそれぞれ前記走査光学系によって中間像を形成し、それぞれの中間像をそれぞれの接眼光学系によって観察者の左右の眼球に虚像として拡大投影することを特徴とする画像表示装置。

【0118】〔43〕 上記〔42〕において、前記偏向器に入射する光束は複数の偏向面を同時に照射することを特徴とする画像表示装置。

【0119】〔44〕 上記〔42〕又は〔43〕において、前記偏向器に入射する光束は2つに分割されていることを特徴とする画像表示装置。

【0120】〔45〕 光源から射出した光が偏向器に

よって偏向され走査光学系によって形成される中間像、あるいは、画像表示素子の画像をリレー光学系によって形成される中間像を接眼光学系によって観察者眼球に拡大した虚像として投影する画像表示装置において、前記中間像の少なくとも一部は前記接眼光学系の媒質内に形成されることを特徴とする画像表示装置。

#### 【0121】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、1つの走査光学素子によって構成された走査光学系を用いながらも、非常に広い走査角を有し、偏向器の種類に関わらず走査面上では等速度運動する光ビームを形成することが可能であり、また、高精度な描画のために必要なテレセントリック性を達成することも可能であり、さらに、1次元走査のみではなく2次元の走査領域において上記特性を有し、さらに、結像性能の高い走査光学系を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の走査光学系の光軸を含む断面図である。

【図2】本発明の実施例2の走査光学系の光軸を含む断面図である。

【図3】本発明の実施例3の走査光学系の光軸を含む断面図である。

【図4】本発明の実施例4の走査光学系の光軸を含む断面図である。

【図5】本発明の実施例6の走査光学系の光軸を含む断面図である。

【図6】実施例1の $f-\theta$ 特性を示す図である。

【図7】実施例2の $f-\arcsin\theta$ 特性を示す図である。

【図8】実施例4の $f-\theta$ 特性を示す図である。

【図9】実施例5の $f-\theta$ 特性を示す図である。

【図10】実施例1の像面湾曲を示す図である。

【図11】実施例2の像面湾曲を示す図である。

【図12】実施例4の像面湾曲を示す図である。

【図13】実施例5の像面湾曲を示す図である。

【図14】実施例1の横収差の一部を示す図である。

【図15】実施例1の横収差の他の一部を示す図である。

【図16】実施例1の横収差の残りの一部を示す図である。

【図17】実施例4の横収差の一部を示す図である。

【図18】実施例4の横収差の他の一部を示す図である。

【図19】実施例4の横収差の残りの一部を示す図である。

【図20】本発明の走査光学系をレーザービームプリンタに適用した場合の構成図である。

【図21】本発明の走査光学系を読み込み装置に適用した場合の構成図である。

【図22】本発明の走査光学系を2次元画像の読み込み装置に適用した場合の構成図である。

【図23】本発明の走査光学系を画像表示装置に適用した場合の1例の構成図である。

【図24】本発明の走査光学系を両眼観察可能な画像表示装置に適用した場合の構成図である。

【図25】本発明の走査光学系を画像表示装置に適用した場合の別の例の要部構成図である。

#### 【符号の説明】

1…光源

1R, 1G, 1B…R, G, BレーザーあるいはLED

2…コリメーター

3…偏向器

4…走査光学素子

5…走査面

6…接眼光学系

7…ハーフミラー

11…第1面

12…第2面

13…第3面

20…入射瞳

21…光軸

31…ガルバノメータスキャナー

40…中間像位置

41…観察者瞳

51…走査線

52…集光光学系

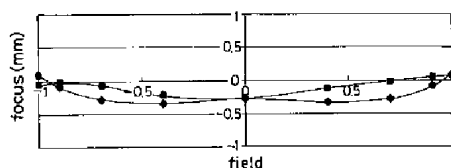
53…光検出器

61…接眼光学系の第1面

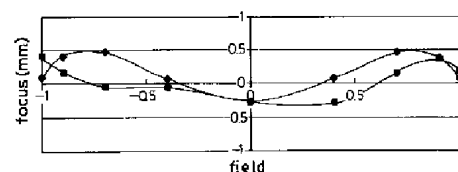
62…接眼光学系の第2面

63…接眼光学系の第3面

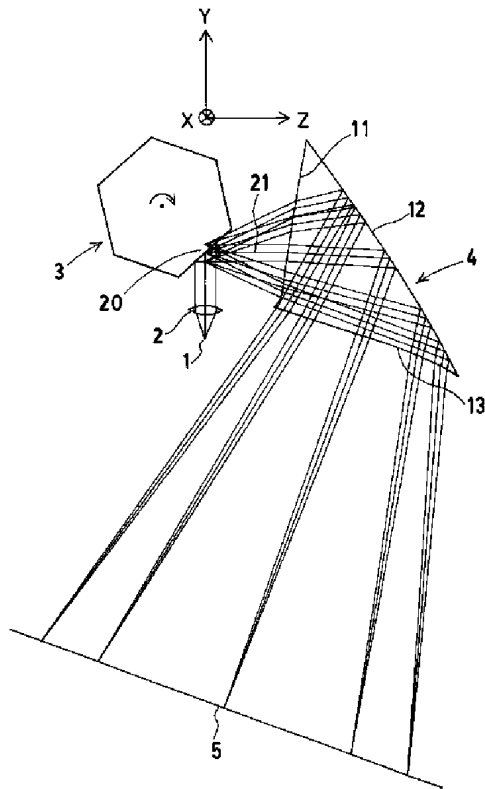
【図10】



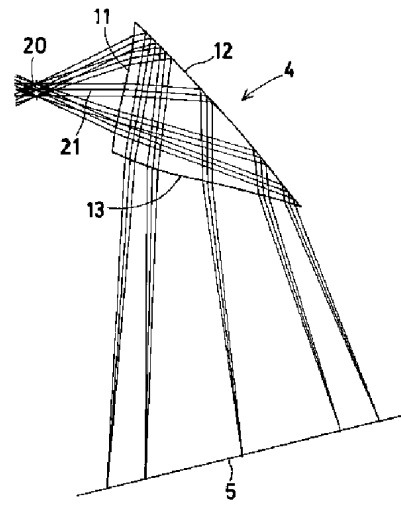
【図11】



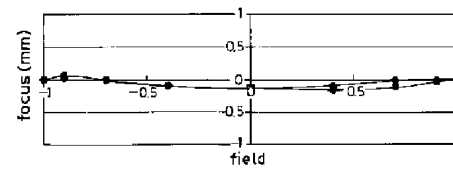
【図1】



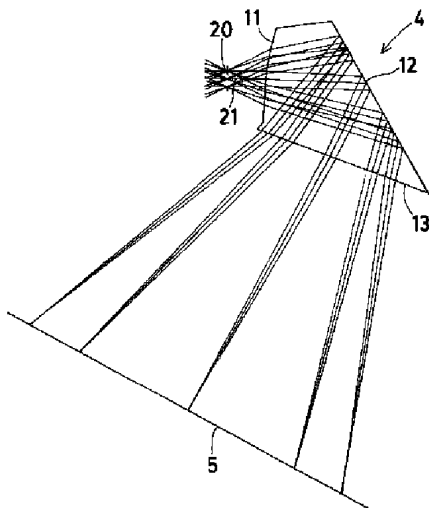
【図2】



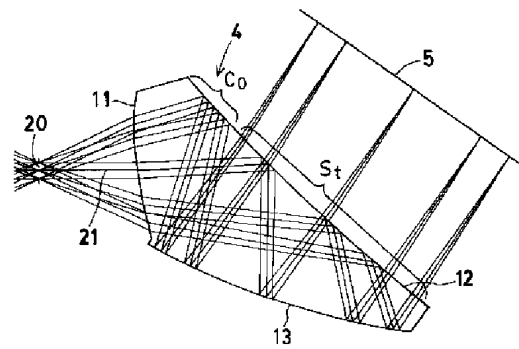
【図12】



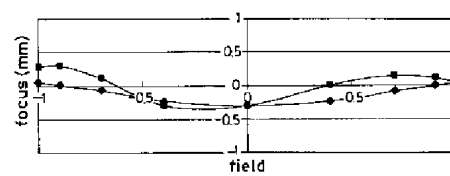
【図3】



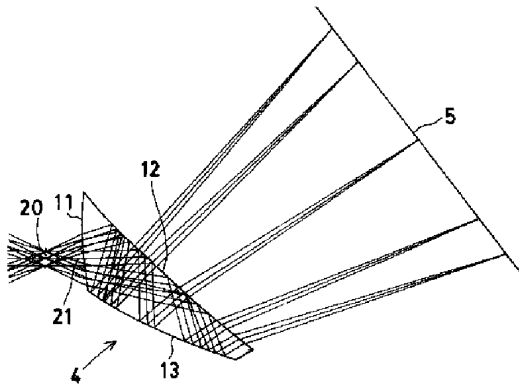
【図4】



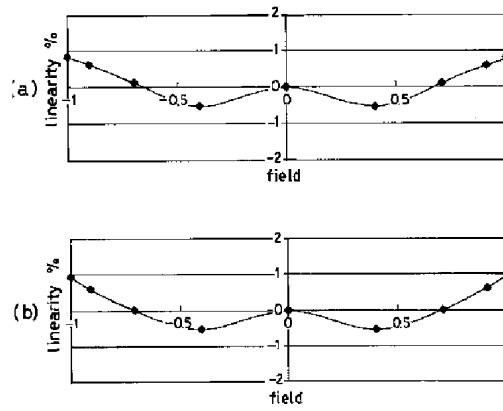
【図13】



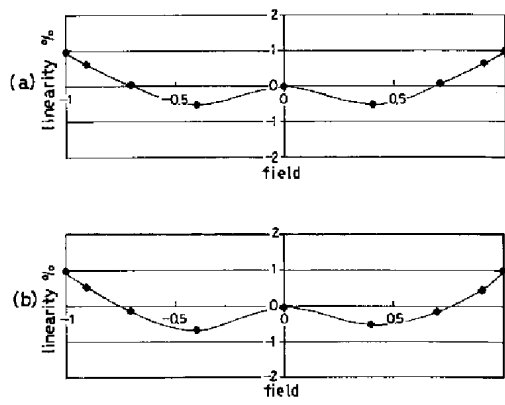
【図5】



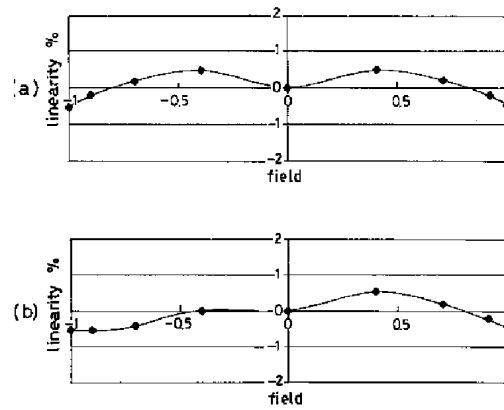
【図6】



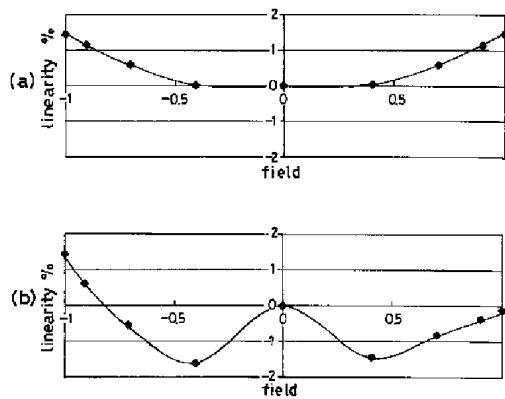
【図7】



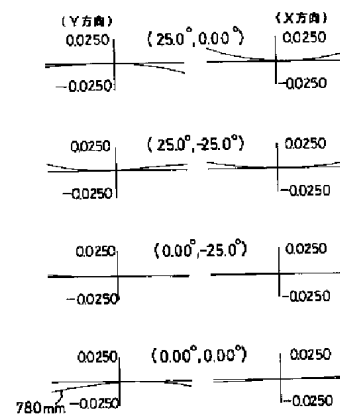
【図8】



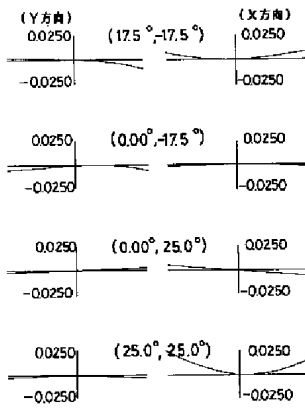
【図9】



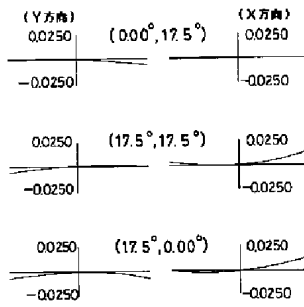
【図14】



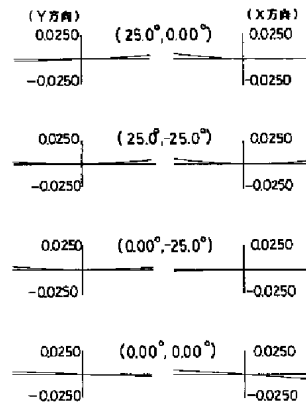
【図15】



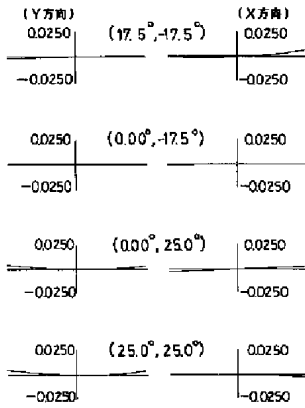
【図16】



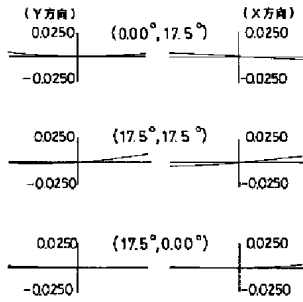
【図17】



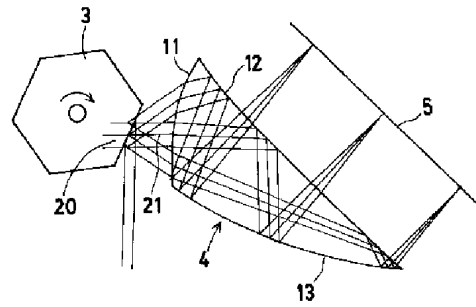
【図18】



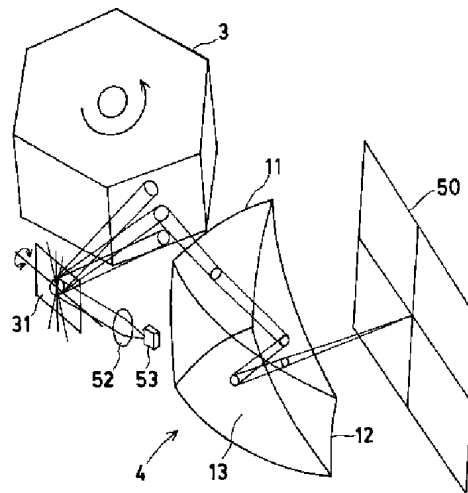
【図19】



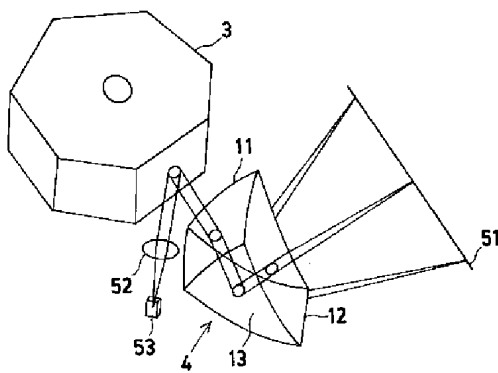
【図20】



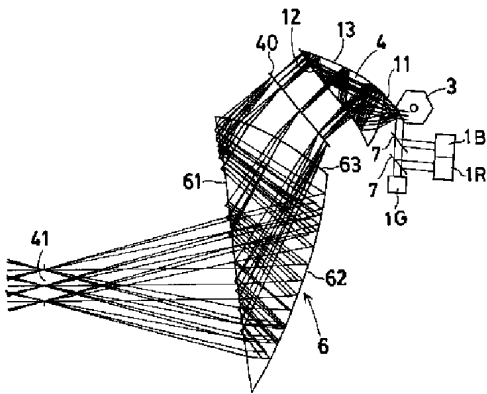
【図22】



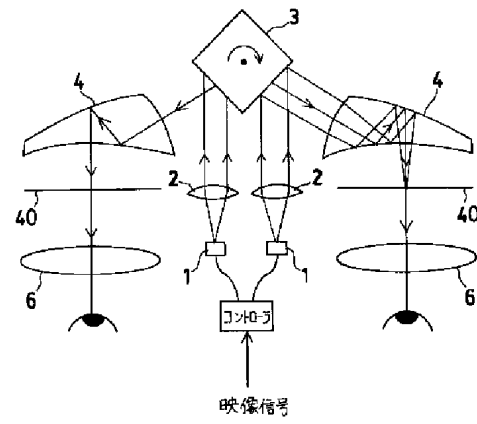
【図21】



【図23】



【図24】



【図25】

